

平成 21 年度助成研究実施報告書

研 究 題 目	パルスパワー技術の高度利用によるさんりくブランドきのこの収穫量改善
研究者(所属・職)	研究代表者 高木 浩一 (岩手大学工学部・准教授) 共同研究者 小藤田 久義 (岩手大学農学部・准教授) 共同研究者 梶原 昌五 (岩手大学教育学部・准教授)
研 究 代 表 者 連 絡 先	電 話 : 019-621-6941 F A X : 019-621-6941 メー ル : takaki@iwate-u.ac.jp U R L : http://www.eng.iwate-u.ac.jp/jp/labo/elc07-1.html
研究目的 パルスパワー技術を利用して簡便な高電圧短パルス発生装置を開発し、きのこへの電気刺激による生産性向上を図る。多品種きのこの安定収量の確保や増収をもとに、きのこ関連業者を中心に、地域の活性化をはかる。	
研究結果の概要 1 背景及び課題・ニーズ等 <p>① 背景等 自然食ブームの影響もあり、安全で、健康によい食材に対する需要は年々高まっている。きのこは、アルカリ性食品であり、抗がん作用があり、かつ低カロリー食品であることから、健康食材としての需要が年々高まっている。しかし、自然林を用いた国産きのこ（菌根性きのこ）の採取は、下草刈りや腐葉土処理などの作業が必要になる。林業関係者の高齢化や環境の変化などのため、国産きのこの採取高は減少しているのが現状である。外国産のきのこは、防腐剤の使用などの問題もあり（トレーサビリティの困難さ）から、国産きのこの増産が必要になる。</p> <p>② 課題、ニーズ等 林業関係者の間で、落雷があればその周囲約 15m でのきのこは異常繁殖することが知られている。雷による異常繁殖の特徴は、光や音、振動の刺激に対して、非線形的に変化が見られる点である。人工的に電気刺激で増産をする研究が、昭和 60 年頃に行われ、しいたけのホダ木に人工落雷による刺激による影響について、電気刺激と収量の関係に関して、詳細な報告がなされている。本研究の目的は、電気刺激がきのこの生育に与える影響について生物学的な見地からも明らかにし、さらにパルスパワー技術を用いてコンパクトな電源を開発し、しいたけやナメコなどの腐生性きのこの菌床栽培、ホダ木栽培や、自然林を利用したあみたけやまつたけなどの菌根性きのこの栽培に活用することである。</p> 2 研究計画の実施状況 本研究では、菌床栽培（おがくずを固めて菌床を作ってハウス内で栽培）、ホダ木栽培（野外のホダ木に植菌して仮伏せ・伏せこみするもの）、自然林を利用した菌根性きのこの3つのケースを想定している。これらに適した電気刺激の条件は、それぞれで異なる。このため、本研究では、1) それぞれの栽培法での増産に適した電源の開発、2) 増産効果の実験的調査、3) 電気刺激が菌に与える影響の解明を計画している。 平成 20 年度の実施では、コンパクトな電源開発では、ホダ木栽培用には 250kV 出力の電源を開発した。Marx 方式と誘導性エネルギー蓄積方式を併用することで、高電圧・低コスト・コンパクトを実現した。電気刺激効果の検証では、開発した電源を用いて、菌床栽培、ホダ木栽培において増産効果の確認を行った。マンネンタケ（霊芝）など、薬に用いられる種類でも大幅な増産が確認できている。そこで、平成 21 年度は残された課題である以下の2点について進めてきた。 [菌糸へ与える影響の解明] 寒天培養で菌糸の伸びや形状に対する電気刺激の影響について、実験を通して調べる。印加電圧波形と菌糸の状態との関係についても調べ、きのこ栽培に適した	

電源を提案する。また、ラッカーゼなど分泌物（リグニンなど難分解の繊維質の消化酵素）の量と電気刺激との相関などについても、実験的に明らかにする。

【きのこ増産電気刺激装置の効果の検証】 前年度に開発した安価でコンパクトなパルスパワー電源を用いて、さんりく地域できのこ栽培を行っている業者・施設で実験を行い、誰にでも使えるように、装置の仕様をまとめる。

以下、項目に分けて、本年度の実施状況をまとめる。

1) 菌糸へ与える影響の解明： 電気刺激に対するきのこの増産のメカニズムとして、1) イオンや電界による栄養菌糸への子実体形成刺激、2) 菌糸の断裂に伴う多突起状菌糸の形成、3) ホダ木の繊維裁断や空孔の形成、4) 雑菌の不活性化など子実体抑制要因の排除などが提案されている。図1に、実験に用いたキノコであるしいたけの電子顕微鏡写真像を示す。倍率は4000倍である。植菌はシャーレ内の菌床に行い、その後、14日間培養したものである。写真より、クランプコネクションなどが確認でき、すでに一核菌糸から、二核菌糸へと成長していることがわかる。また、写真より菌糸の直径は、場所によっても異なるが、おおよそ2～5 μm となっている。この寸法を元に、菌糸内細胞壁と細胞内に加わる電圧比を、図2に示す。この解析より、細胞内には1MHz以上の周波数で電界が入り始めることがわかる。昨年度開発した電源の、周波数成分の解析結果を図3に示す。いずれの電源も、細胞内へ電界が入りこむ周波数成分を有するものの、低周波成分も多く、細胞壁と細胞内のいずれにも刺激が加わることがわかる。従って、増産のメカニズムとして、1) と2) いずれも生じる可能性を有しており、このメカニズムの解明は、さらなる研究が必要になる。

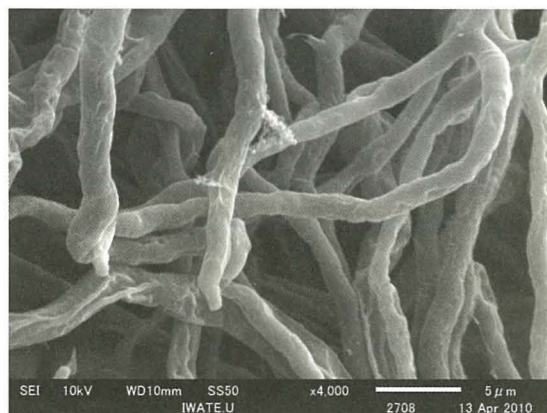


図1 しいたけ菌糸の電子顕微鏡写真
(品種:SR-X、倍率4000倍)

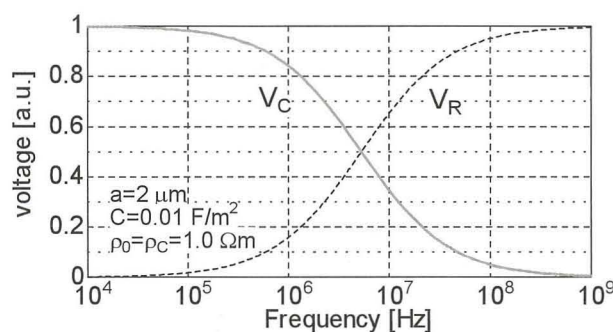


図2 菌糸内細胞膜の電圧 (V_C) と細胞内電圧 (V_R) の周波数依存性の解析結果

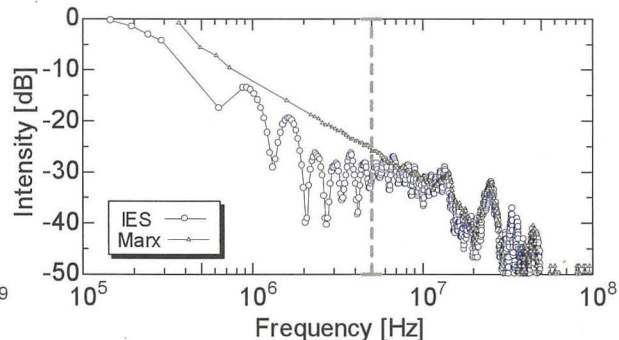


図3 昨年度開発した異なるパルス電源の周波数解析結果 (IES: 誘導性パルスパワー電源、Marx: マルクス型パルス電源)

パルス電圧が子実体形成の刺激として働くことの確認として、寒天培地上の栄養菌糸への電圧印加を行い、菌糸の成長の様子および分泌されるたんぱく質について調べた。実験にはシイタケ菌（北研 H600）を用い、培地はポテトロースを栄養分とした寒天培地を用いた。シャーレの直径は9cmで、その中心に原種菌を接菌（植菌）、5日間培養した後、電圧を印加、その後更に5日間培養した。100 kV印加時の平均電界は50 kV/cmとなる。印加回数は100回とし、電圧の印加には5段積重ね型ブルームライン方式パルス電源（パルス幅は約80 ns）を用いた。図4に、印加電圧の異なる菌糸の10日培養後の様子を示す。図の写真には、赤いマーキングが2箇所あるが、内側の円は接菌5日後の菌糸の成長点、すなわち電気刺激時の菌糸の伸びを示しており、外側の円は、その後5日間の培養で、最終的に到達した菌糸先端位置を示す。本比較では、菌糸の伸びに対する変化はそれほど顕著ではないが、菌糸の成長方向に大きな変化が見られた。図中、80および100 kV印加のものは内側のマーキング位置から菌糸の密度が異なる。顕微鏡観察の結果、樹枝状分岐が増えていることや、培地から離れる方向への成長が観察された。後者は、疎水性タンパク質（ハイドロホビン）の分泌に起因するものと考えられる。

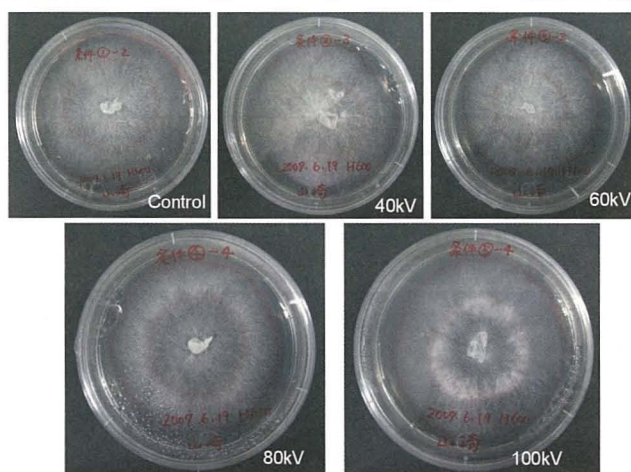


図4 電気刺激による菌糸の生育状況の変化

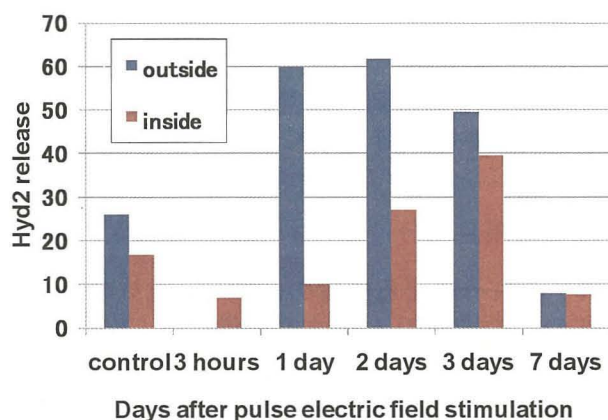


図5 電気刺激による疎水性たんぱく質の分泌量の変化

図5に、100 kVパルス電圧刺激印加後の、栄養菌糸 (outside) および不活性菌糸 (inside) からの疎水性タンパク質 (ハイドロホビン) の分泌量を示す。分泌量の計測には、リアルタイムPCR (Polymerase Chain Reaction; Applied Biosystems 7500) を用いた。電圧印加後3時間では、栄養菌糸からのハイドロホビンの分泌量も、不活性菌糸からの分泌量も、ともに減少している。しかし電圧印加から1日後には、栄養菌糸からのハイドロホビンの分泌量は、電圧を印加していない場合に比べ約2.3倍になる。栄養菌糸からの分泌量は電圧印加から2日後に最大となり、その後減少する。不活性菌糸からのハイドロホビンの分泌は、栄養菌糸に対して遅れて増加する傾向があり、電圧印加から3日後に、電圧を印加しない場合に対して2倍以上の分泌量となる。図5のハイドロホビンの分泌量の変化は、図4に示す菌糸の縦方向菌糸の分布とも、定性的に一致している。ハイドロホビンの分泌は子実体形成時によく観察される現象であり、パルス電圧印加が子実体形成の刺激として働くことの裏付けの一つとなる。

2) きのご増産電気刺激装置の効果の検証： 原木 (ホダ木) を菌床として用い、そこに腐生性きのこの原種菌を植菌 (接菌) して、菌糸を菌床に成長させる栽培法を原木栽培とよぶ。原木栽培におけるパルス電圧刺激による収量増加について、3種類の腐生菌を用いて調べた。用いた腐生菌はいずれも食菌であり、シイタケ、ナメコ、クリタケである。パルス電圧印加のタイミングは、子実体形成の予定日から2週間～1ヶ月程前とした。理由は、他の刺激法で効果が上がっているタイミングとして設定したためである。シイタケ、ナメコの実験に用いたホダ木はミズナラ、クリタケにはクリを選択した。いずれも平成17年に植菌を行ったものである。パルス電圧発生には、Marx-IES方式パルスパワー電源を用いた。装置は、一次電源、エネルギー蓄積用コイル、オープニングスイッチで構成される。一次電源には、静電容量 $0.22 \mu\text{F}$ のコンデンサを4個組み合わせたマルクス回路を用いた。これは、やませに代表されるように、東北地方の夏は湿度が高い場合が多い。このため、高電圧のもとではコロナ損が発生し、低用量のコンデンサの充電が困難になる。マルクス回路とすることで低電圧の充電で、子実体形成の刺激に必要な高電圧を得ることができる。

図6に、ホダ木一本当たりのシイタケの収穫量の比較を示す。実験には条件ごとに15本のホダ木を用い、パルス電圧印加後、各ホダ木からの収量を毎日調べた。実験ではシイタケのほか、ナメコ、クリタケ、タモギダケなどでも行っている。きのご収穫のタイミングは商品として収穫するかさが8割程度開いた時期とし、ホダ木別に収穫されたきのこの質量を比較した。縦軸は各条件におけるホダ木一本あたりの収穫量を表し、4シーズン分の収量の合計である。各条件のホダ木のサンプル数は15本である。各収穫量によってばらつきがあるが、全体をみると50 kV50回印加条件において最も収穫量が多く、印加なしの条件の約1.9倍の収穫となっている。電圧を印加した条件の中では125 kV1回印加の条件において収穫量が最も少なくなっている。このことより、電気刺激には最適値が存在することがわかる。

図7に、一例として、同じ時期に撮影したシイタケのホダ木の様子を示す。写真より、電気刺激を施したホダ木に数多くのシイタケの発芽が確認される。図8に、ホダ木15本から4シーズ

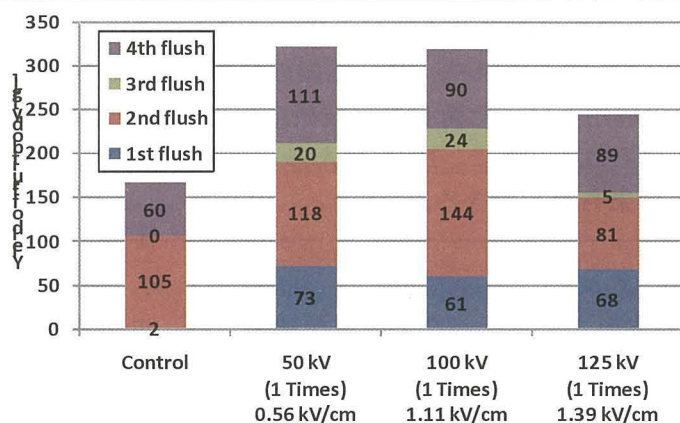


図6 印加電圧の条件によるシイタケの収量変化

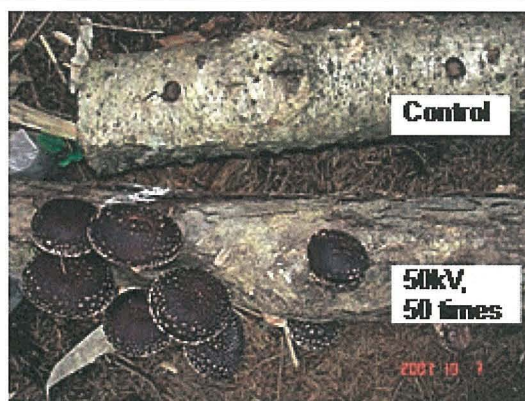


図7 電気刺激の有無によるシイタケ生育の比較

ン目に収穫された子実体の総量の電気刺激からの時間変化を示す。図8は、図6に示す4シーズン目の総収量を100%として各日数における収量の総収量に対する割合を示している。4シーズン目の総収量は、印加なし、50、100、125 kVの条件でホダ木1本当たり60、111、90、89gである。図より、50 kVおよび100kVの電圧を印加したホダ木は、電圧を印加しないものより早い時期に収穫可能となっていることがわかる。15日目の収穫率を比較した場合、controlは50%の収穫量になっているのに対して50 kV印加条件では86%の収穫量となっている。

図9に、50 kVを一回かけた場合と50回かけた場合の15本のそれぞれのホダ木より収穫されたシイタケの重量を比較したものを示す。図より、50 kVを50回印加した場合、子実体発生のないホダ木が0本であることがわかる。このことより、電気刺激による増産の理由として、発芽しないホダ木の割合が減少するためであることがわかる。ナメコやクリタケについても、印加電圧が50kVや90kVにおいて1.6倍や1.8倍といった収量の増加が確認できている。

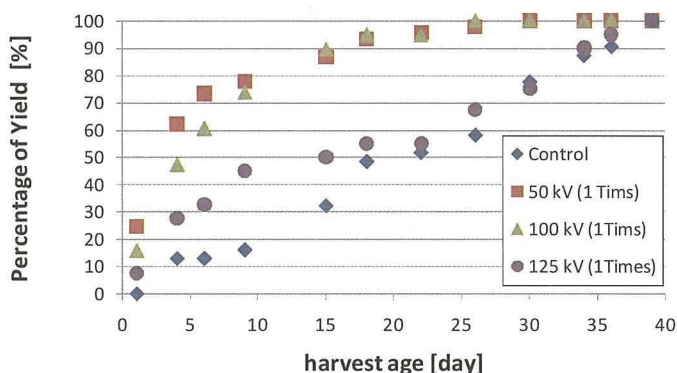
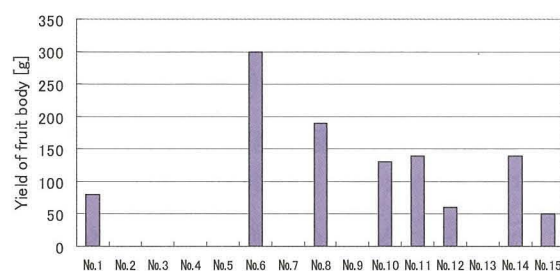
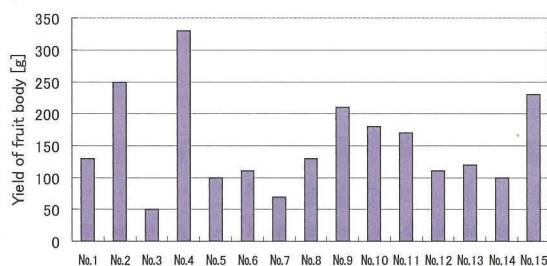


図8 印加電圧の条件によるシイタケ総収量の時間変化



(a) 50 kV X 1 time



(b) 50 kV X 50 times

図9 電気刺激の15本のホダ木からのシイタケの収量と印加回数の比較(電圧:50kV)

事業展開の見通し

事業者の事業内容は、主に、きのこの加工と販売になる。防腐剤など薬剤使用の問題などから、国産のきのこの需要が高まっている。現在は、需要の高まりに、自然林で採取のみの現方法では、追いつけない状況である。本技術を用いて、自然林で採取可能な菌根性きのこ（あみたけやまつたけなど）を増やし、商品価値の高い国産の菌根性きのこを安定に供給することで、これまで安定に原料を入れられなかったために、商品化できなかったものも取り扱うことができる。また商品を提供できる範囲を、県内中心から、関東圏、関西圏、九州へと押し広げることも可能になる。

期待される効果

期待される効果として、1) さんりくブランドきのこの確立、2) 国産の菌根性新商品開発による地域の活性化、3) バイオへの電気技術の応用といった新分野の技術応用の話題性、4) 未活用資源としての自然林の有効活用などがあげられる。特に、1) のさんりくブランドの確立は、ほかの農業商品の価値をも高め、成果の波及効果も期待できる。

研究成果の達成状況

本プロジェクトは、おおよそ計画通りに遂行された。コンパクトな電源開発では、ホダ木栽培用には 500kV 出力の電源を開発した。Marx 方式と誘導性エネルギー蓄積方式を併用することで、高電圧・低コスト・コンパクトを実現した。充電電圧 5 kV の低電圧で、実験に必要な 100kV 程度の電圧が得られ、野外実験の効率が格段に改善された。電気刺激効果の検証では、開発した電源を用いて、菌床栽培、ホダ木栽培において増産効果の確認を行った。マンネンタケ（霊芝）など、薬に用いられる種類でも大幅な増産が確認できた。計画の遂行に伴って、一部バイオ試薬など予算の消化はおおよそ計画通り進められた。得られた成果も、十分に目的は達成されたものと判断している。

三陸地域への波及効果

- 1) **さんりくブランドの拡大**：さんりくブランドは、海産物に関しては強力なネームバリューがあるが、それ以外はそれほど強くはない。本研究は、さんりくブランドをきのこに対して確立できることが期待される。ブランド名の強化は、ほかの作物の価値をも引き上げ、さんりく地域全体の活性化にも貢献できる可能性を有する。
- 2) **新商品開発と販売範囲拡大に伴う地域の活性化**：本目的が達成された場合、県内産、さんりく産のきのこの収穫量が増し、菌根性きのこを用いた加工食品の商品化が可能になる。これは関係する業者へも波及効果があり、さんりく地域への活性化へ貢献が期待される。
- 3) **バイオと工学融合の領域の新技术の情報発信**：きのこといった生物系の応用に、電気工学の技術を用いる融合領域の技術には、話題性がある。これらがメディアなどに取り上げられることで、さんりく地域が融合技術の先行地域となり、話題を集めることが期待される。

考 察

本課題研究を平成 20 年、21 年と遂行し、当初計画した以上の成果を得ることができた。本研究意義の大きなところは、本技術の適用範囲が、きのこに留まらないこともある。一例として、アブラナ科の植物であるシロイヌナズナに電界をかけたときの発芽の様子を図 10 に示す。本研究は、ドイツの研究グループが遂行したもので、与える電界の大きさにより、発芽の抑制や促進などの制御が可能になっていることが示唆される。今後の展開として、植物全般に本技術の適用範囲を広げることで、より価値の高い技術へと変化する。また、キノコの発芽は、電気刺激以外にも、振動刺激、光刺激、湿度刺激、化学刺激などいろんな刺激により、引き起こされる。電気を利用する刺激の優位なところとして、発芽効果の大きさが挙げられる。春種のシ

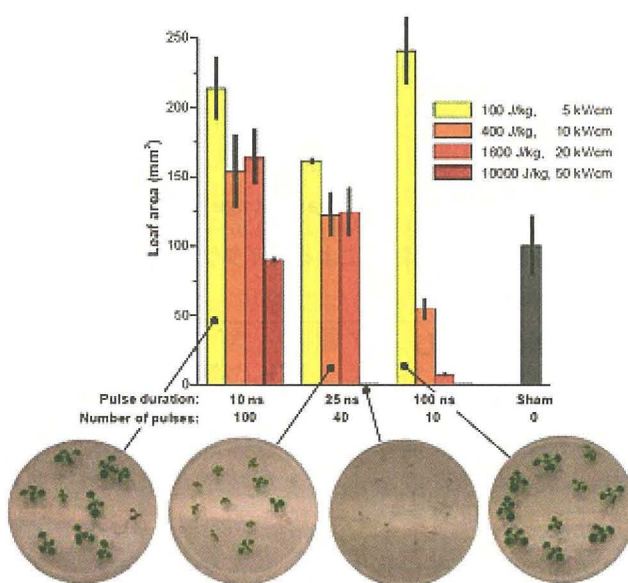


図 10 印加電界のパルス幅および大きさに対する印加5日後のシロイヌナズナの葉の総面積

イタケに対して、秋に刺激を掛けて収穫を試みたところ、電気刺激以外の収量は非常に低くなった。この刺激の制御性の高さを利用することで、アギタケなどの稀少品種の増収が可能になるものと考えている。

備 考

【学術論文】

K. Takaki, N. Yamazaki, S. Mukaigawa, T. Fujiwara, H. Kofujita, K. Takahasi, M. Narimatsu, K. Nagane

Effect of Pulsed High-Voltage Stimulation on *Pholiota Nameko* Mushroom Yield, Acta Physica Polonica A, 115(6), 1062-1065, 2009.

K. Takaki, N. Yamazaki, S. Mukaigawa, T. Fujiwara, H. Kofujita, K. Takahasi, M. Narimatsu, K. Nagane

Fruit Body Formation of Basidiomycete by Pulse Voltage Stimulations, Frontier of Applied Plasma Technology, 2, 61-64, 2009.

K. Takaki, N. Yamazaki, S. Mukaigawa, T. Fujiwara, H. Kofujita, K. Takahasi, M. Narimatsu, K. Nagane

Improvement of Edible Mushroom Yield by Electric Stimulations, J. Plasma Fusion Res. SERIES, 8, 556-559, 2009.

【解説記事】

高木浩一、猪原哲：パルスパワー技術の農業・食品分野への応用、電気学会論文誌 A、129(7)、439-445、2009.

【学会発表】

K. Takaki, N. Yamazaki, S. Mukaigawa, T. Fujiwara, H. Kofujita, Y. Sakamoto, K. Takahasi, M. Narimatsu, K. Nagane: Fruit Body Formation of Basidiomycete by Pulse Electric Field Stimulations, 2009 International Bioelectrics Symposium, E-1(oral), pp.50-51, Columbia, USA, June 25-26, 2009.

K. Takaki, N. Yamazaki, S. Mukaigawa, T. Fujiwara, H. Kofujita, Y. Sakamoto, K. Takahasi, M. Narimatsu, K. Nagane: Fruit Body Formation of Basidiomycete by Pulse Electric Field Stimulations, 17th IEEE International Pulsed Power Conference (PPC2009), 03P-57(poster), p.314, Washington DC, USA, June28-July2, 2009.

K. Takaki, N. Yamazaki, S. Mukaigawa, T. Fujiwara, H. Kofujita, K. Takahasi, Y. Sakamoto, M. Narimatsu, K. Nagane: Improvement of Edible Mushroom Yield by Electric Stimulations, The 6th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Science and Technology, B09(oral), pp.116-119, Hsinchu, Taiwan, Dec. 14-16, 2009

山口諒、山崎信幸、向川政治、高木浩一、藤原民也、小藤田久義、高橋久祐、成松眞樹、長根健一、坂本祐一：腐生性きのこの電気刺激増産に対する収穫履歴の影響、電気学会パルスパワー放電合同研究会資料、PPT-09-20、ED-09-42、pp. 47-50、2009.5.28.

山口諒、山崎信幸、向川政治、高木浩一、藤原民也、小藤田久義、高橋久祐、成松眞樹、長根健一、坂本祐一：腐生性きのこのパルス電界印加の子実体形成効果、電気学会プラズマ・パルスパワー・放電合同研究会資料、PST-09-46、PPT-09-46、ED-09-90、pp. 25-30、2009.8.7.

高木浩一、山口諒、小藤田久義、高橋久祐、成松眞樹、長根健一、坂本祐一：シイタケの子実体形成に対するパルス電圧刺激の効果、電気学会パルスパワー研究会資料、PPT-10-013、pp. 11-16、2010.2.22.

高木浩一：パルスパワーの農業応用、バイオエレクトリクスシンポジウム、熊本大学、2010.3.4.

【新聞記事掲載】

- 「あすを拓く岩手の産官学連携;カミナリに豊穡の夢を託す」、いわて経済同友、No.484、pp.10-11、2009.4.
- 「菌床に電圧かけて栽培実験 マイタケ増収効果を検証」、農業共済新聞、12面、2009.7.22
- 「落雷でキノコ増える 本当?」、朝日新聞(夕刊;関東関西)、12面、2009.10.26
- 「10万ボルトでキノコ増殖 シイタケ・ナメコに電気ショック!」、朝日新聞(朝刊)、31面(岩手県内)、2009.10.27
- 「落雷でキノコ増えるの?」、朝日小学生新聞、1面、2009.10.28
- 「高電圧でキノコ増産;産官学連携、研究進む」、岩手日報、朝刊21面(社会)、2009.11.11
- 「人;高電圧を使ったキノコの増産研究を進める岩手大学准教授」、岩手日報、朝刊2面(人)、2009.12.3
- 「人工の雷でキノコ豊作 岩手大准教授ら野菜への応用も視野」、日本経済新聞、30面(社会)、2009.12.30
- 「人工雷でキノコ増収 岩手大などシイタケ最大2倍」、読売新聞(夕刊)、4面(サイエンス)、2010.1.14
- 「雷の落ちたところにはキノコがよく生える は本当だった」、月刊ジュニアアエラ、朝日新聞社出版、P.49、2009.12.15
- 「電気ショックでキノコ増殖;脅威に対する生存戦略?」、日本経済新聞、11面(サイエンス)、2010.1.31
- 「伝承がヒント 電気で育つ雷キノコ」、WEDGE、ウェッジ、3月号、pp.76-78、2010.2.20
- 「研究ノート拝見;電圧かけキノコ増殖」、河北新報、朝刊19面(教育・こども)、2010.3.9

【テレビ・ラジオ出演】

- テレビ東京:「所さんの学校では教えてくれないそこんトコロ!」、2009.5.8(20:00-20:53)放映(6/14:13:00-13:54 岩手放送 IBC)2008.3.17(20:00~20:53)放映
- 東北放送:「ネモミからのEメール」、2009.6.25(19:50-19:55)放映
- FM ラジオ J-WAVE、気になるニュースにフォーカス!「KONICA MINOLTA MORNING VISION」、7:40-7:44、2009.10.27
- テレビ朝日「笑顔がごちそう ウチゴハン」、2009.11.15(18:00-)放映
- NHK WORLD "Radio Japan Focus; Boosting Crop Yields with Electric Charges"、2009.11.23 放送
- NHK テレビ、「おばんですいわて;いわて見聞録」、2009.12.10(18:00-)放映
- TBSテレビ「イブニングワイド」、2010.2.5(16:53~18:40)放映
- このほか、yahoo トップニュース (2010.4.12) などにも取り上げられた。